

MANUAL DE USUARIO

Manipulador robótico con visión artificial (CableBot)

Alberto López Germán

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática
Tutor: Pere Martí Puig
Vic, Septiembre de 2014

INDICE

LISTADO DE FIGURAS

LISTADO DE TABLAS

1. Introducción

En alguna ocasión, hablando con el tutor del proyecto he comentado que la idea principal es construir físicamente una maqueta para simular un proceso de producción y con ello poner la idea teórica original en práctica. Contando las fechas que quedan y viendo el trabajo que falta por hacer seguramente no será viable realizar un montaje operativo pero aprovechando el diseño previo realizado en software de CAD 3D, nos podemos hacer una imagen de composición de que aspecto tiene la maqueta final y de este modo explicarlo como si ya estuviese operativo.

Otro de los puntos importantes del proyecto es el software de visión artificial implementado en MATLAB, el cual se ha logrado realizar y se detalla en este documento con el fin de ver el alcance del trabajo realizado.

1.1. Objeto

Este documento intenta describir de forma visual la manera de comenzar un proceso completo de identificación de figuras y el manejo del software de visión artificial implementado para entorno Windows, con el cual se realiza la toma de imágenes para ser tratadas de forma digital y obtener los parámetros que son necesarios para que el controlador robótico funcione de forma correcta.

1.2. Alcance

El presente documento se acota a dos puntos claramente definidos. Por un lado la introducción al sistema robotizado viendo una serie de imágenes para la identificación de las partes más importantes y por otro lado la explicación del software de control de visión artificial en el cual se explica de forma detallada la forma de utilizarlo.

Además de conocer el hardware, el control del software es lo primero que se debe saber manejar ya que antes de comenzar el proceso de almacenamiento de las piezas es necesario enviarle previamente la información al controlador robótico.

1.3. Requerimientos mínimos de PC

Los recursos que consume la aplicación en MATLAB debido a la cantidad de operaciones que debe realizar en poco tiempo son muchos, por lo tanto se aconseja que el PC en el cual se ejecuta la aplicación tenga unos requisitos mínimos para no tener ningún tipo de problema en cuanto a tiempo de ejecución se refiere.
Las pruebas realizadas hasta ahora han sido muy satisfactorias y se han venido haciendo en un PC con las siguientes características:

Requerimientos mínimos	
Chipset	Intel® H61 Express.
Sistema operativo	Windows® XP Professional
Procesador	Intel® CoreTM i3 hasta 2120 3,30GHz 3MB caché.
Memoria	2GB DDR3 con tecnología Dual channel,
Controladora placa base	Controladora Serial ATA2 (300Mbps)
Disco duro	500GBytes
Grafica	Intel graphics HD Integrado en procesador core i3

Tabla 1. Requerimientos mínimos del PC

2. Antes de empezar

Uno de los aspectos más llamativos de este proyecto es la maqueta diseñada para realizar la simulación del proceso de producción, en la cual se puede apreciar la zona de trabajo donde están colocadas las piezas además del resto de componentes que forman parte del sistema.

Este es el primer paso a realizar, la colocación de las piezas en la zona de trabajo preparada y delimitada para tal cometido.
Antes de comenzar debemos tener identificados los componentes del sistema robótico. En la siguiente imagen se puede ver una vista general del equipo robótico en la cual se pueden identificar los componentes.
Para más información ver el plano ***P: 00.01 Ensamblaje General***.

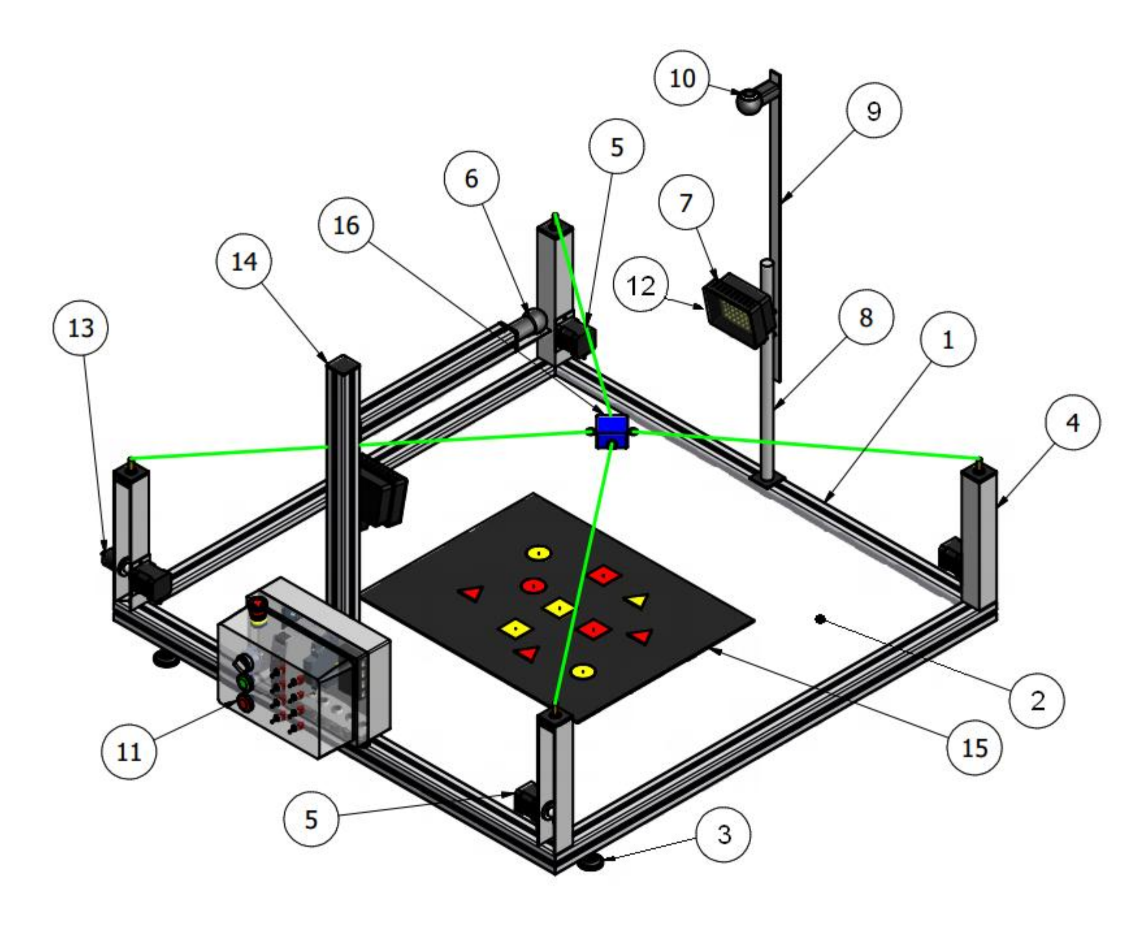


Figura 1. Vista general del sistema

Partes del sistema	
Referencia	**Denominación**
1	Estructura de aluminio extruido de 40x40mm
2	Superficie base de la estructura de panel de 1000x1000x3mm
3	Pata niveladora
4	Columna de soporte para motor
5	Motor paso a paso
6	Webcam acimutal
7	Foco de iluminación led
8	Soporte para foco
9	Soporte de webcam panorámica
10	Webcam panorámica
11	Caja de controlador electrónico
12	Filtro para difuminar la luz del foco
13	Sensor de giro (encoder)
14	Soporte para webcam acimutal
15	Zona de trabajo de 500x400mm
16	Manipulador robótico

Tabla 2. Componentes del sistema

2.1. Superficie de trabajo

La superficie o zona de trabajo es la zona delimitada en la cual se colocan las piezas que se van a almacenar.
En un símil industrial podría considerarse como una zona en la cual una cinta transportadora envía las piezas para ser clasificadas.

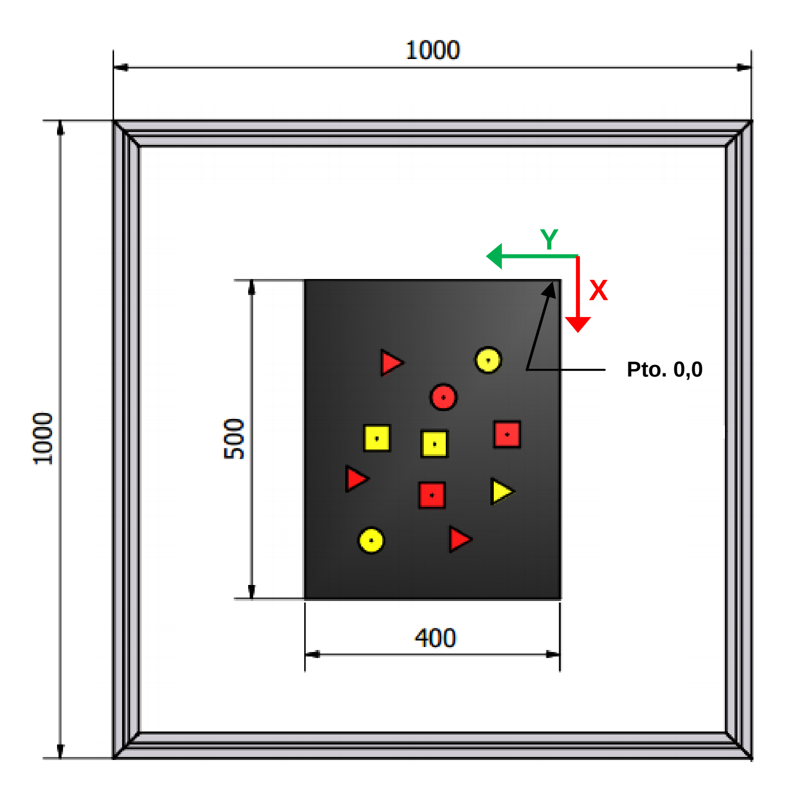


Figura 2. Zona de trabajo

2.2. Identificación de figuras

Las piezas a detectar son:

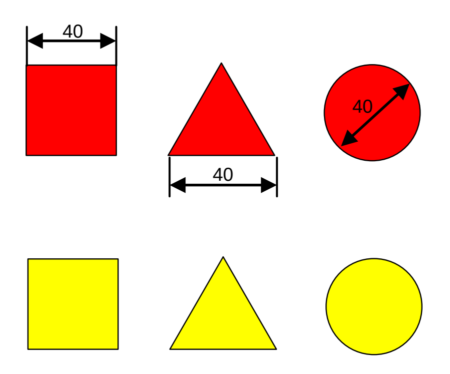


Figura 3. Piezas a identificar

Se pueden apreciar 3 formas, cuadrado, triangulo y circulo de dos colores diferentes, amarillo y rojo. Tienen un tamaño de 40mm y un grosor de 3mm.

2.3. Diagrama de flujo

Con motivo de tener una mayor comprensión en el momento de ejecutar la aplicación, en primer lugar y a modo introductorio se expone el diagrama de flujo de la aplicación.

Figura 4. Diagrama de flujo

2.4. Inicio del software

Para ejecutar la aplicación basta con hacer doble clic en el icono correspondiente:

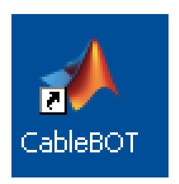


Figura 5. Icono de inicio de la aplicación software

Seguidamente la aplicación se abre mostrando la página de inicio de dicha aplicación en la cual podemos observar información genérica sobre el proyecto. Para iniciar la ventana principal de ejecución solamente se pulsará el botón comenzar,

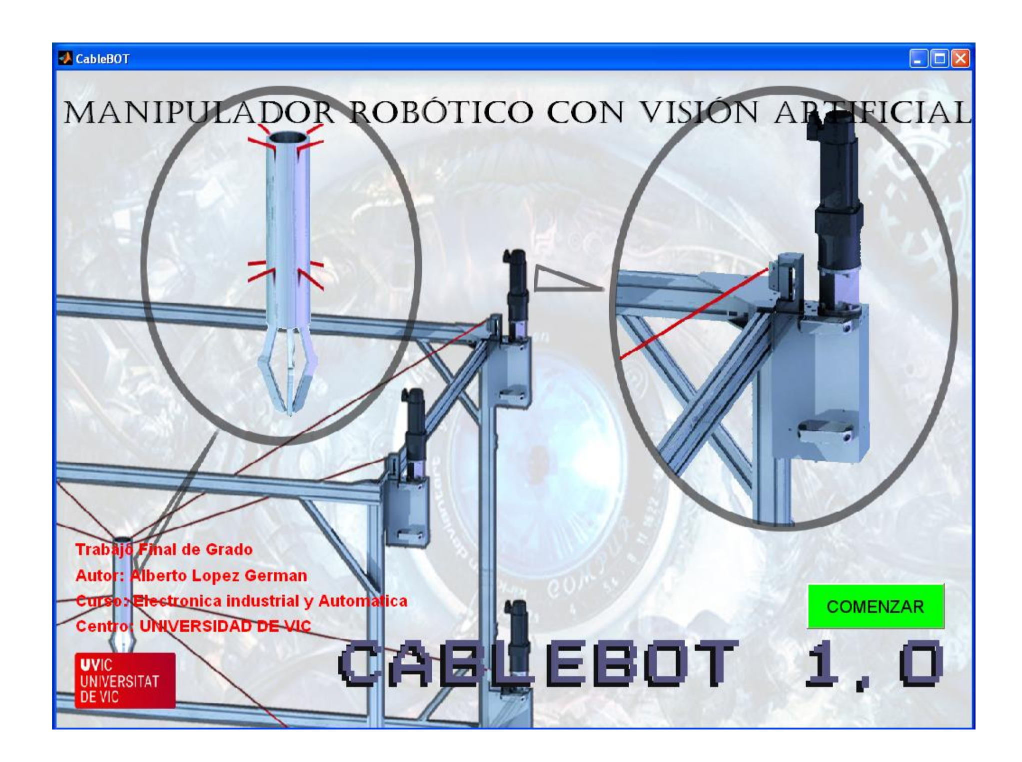


Figura 6. Imagen de presentación de la aplicación

3. Interfaz gráfico

Este punto describe las herramientas implementadas en la aplicación a las cuales se puede acceder a través de la ventana principal del software **CableBOT V1.0.**

3.1. Ventana inicial

Si se han seguido los pasos anteriormente descritos aparecerá en pantalla la ventana principal de la aplicación.

En esta ventana, se pueden realizar todas las operaciones necesarias para llevar a cabo nuestro cometido de visión artificial.

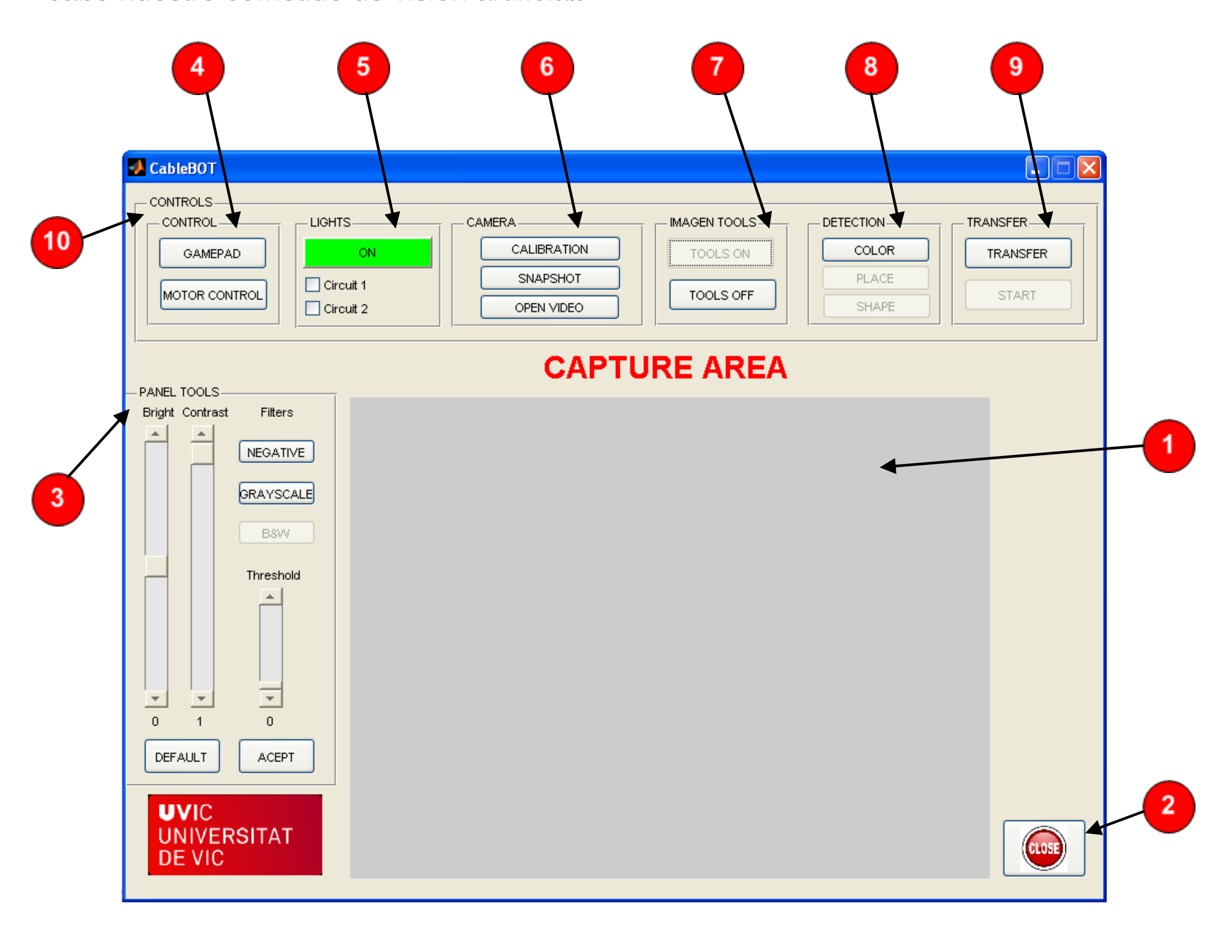


Figura 7. Imagen de la ventana principal de la aplicación

- **1:** Zona de captura de la imagen
- **2:** Botón SALIR
- **3:** Panel de herramientas de imagen
- **4:** Control del manipulador
- **5:** Control de encendido de luces
- **6:** Herramientas manejo de cámara
- **7:** ON/OFF herramientas de imagen
- **8:** Detección de propiedades
- **9:** Herramientas de transferencia
- **10:** Panel de controles

3.2. Secuencia del proceso

Este punto pretende ir paso a paso realizando una secuencia completa para revelar las propiedades de las figuras a detectar con el fin de exponer todas y cada una de las características y posibilidades que se han implementado en el software.

3.2.1. Zona de captura

La zona de captura se destina a zona de visualización para 3 casos concretos:

- Visualización de la instantánea tomada.
- Visualización de la calibración realizada.
- Visualización de los datos obtenidos.

En las siguientes imágenes se aprecia cada una de estas visualizaciones que más adelante se explicaran con detalle.

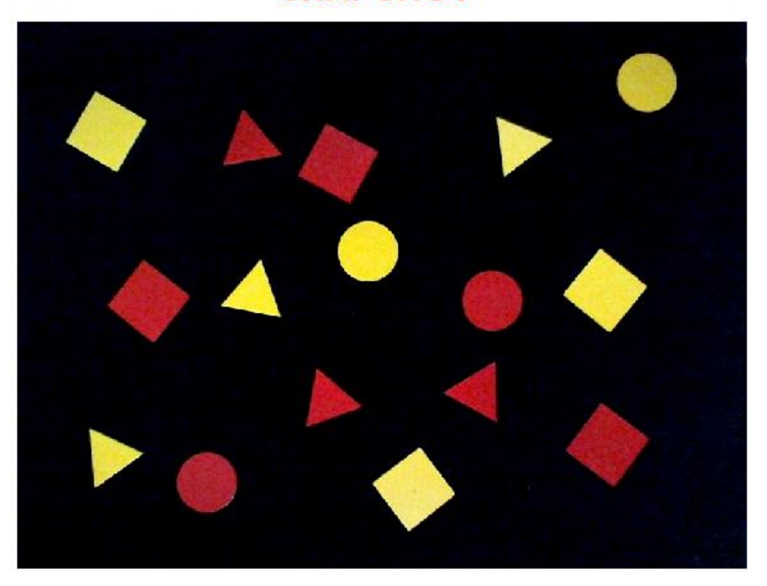


Figura 8. Instantánea tomada en proceso

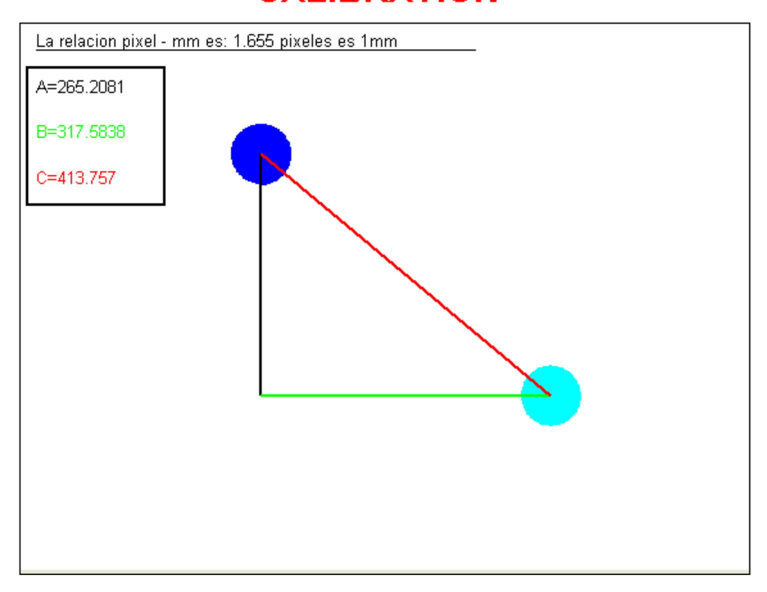
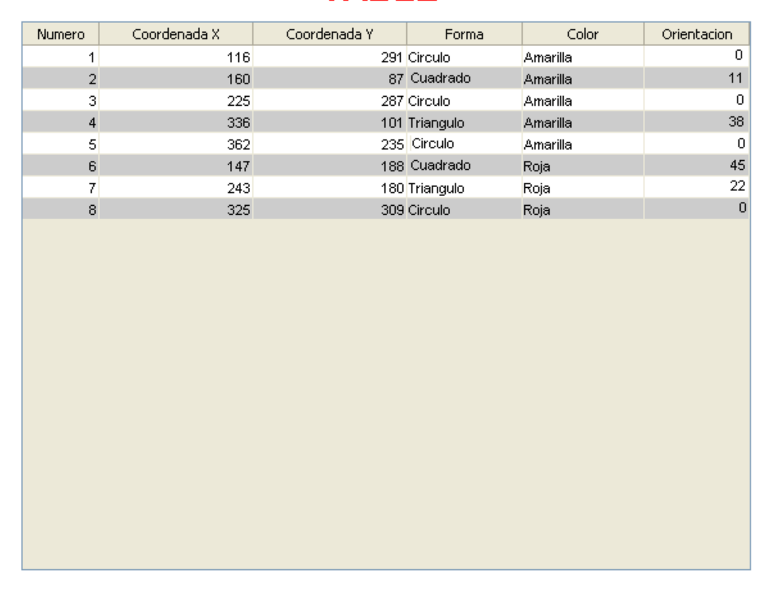


Figura 9. Datos de conversión obtenidos



TABLE

Numero	Coordenada X	Coordenada Y	Forma	Color	Orientacion
1	116	291	Circulo	Amarilla	0
2	160	87	Cuadrado	Amarilla	11
3	225	287	Circulo	Amarilla	0
4	336	101	Triangulo	Amarilla	38
5	362	235	Circulo	Amarilla	0
6	147	188	Cuadrado	Roja	45
7	243	180	Triangulo	Roja	22
8	325	309	Circulo	Roja	0

Figura 10. Datos finales después del proceso

3.2.2. Encendido de luz artificial

Después de estudiar gran diversidad de documentos y libros relacionados con la visión artificial, se ha optado por colocar 2 focos de iluminación difusa con el objetivo de mejorar el reconocimiento.
Si la ocasión lo requiere, se tiene la posibilidad de encender uno o dos focos según necesidades.

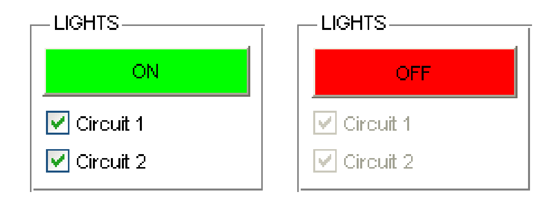


Figura 11. Comandos sobre los focos de iluminación

Si no hay seleccionado ningún circuito al lanzar la orden de encendido una ventana emergente a modo de aviso nos lo indicará.

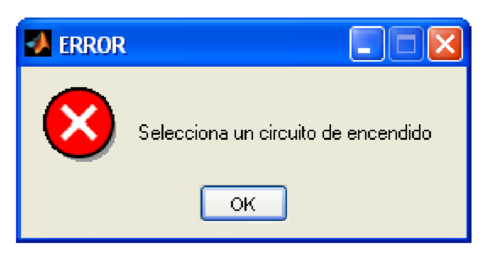


Figura 12. Error de encendido de luces

En la siguiente imagen se observa la diferencia entre usar la luz artificial y no usarla.

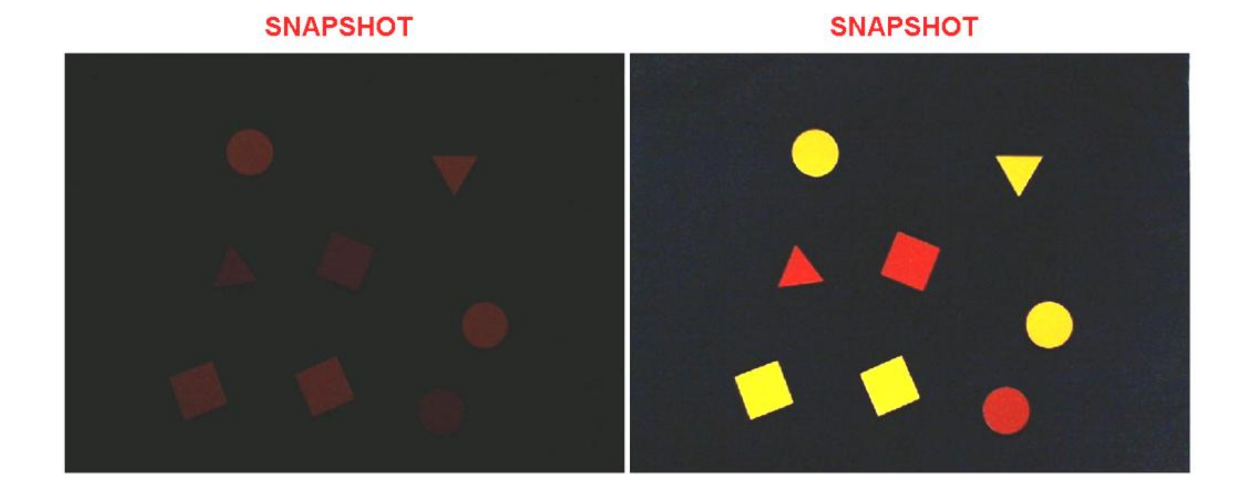


Figura 13. Diferencia entre usar luz artificial y no usarla

3.2.3. Escalado y/o centrado

Al trabajar con imágenes digitales, los programas usan una unidad estándar en digitalización de imágenes como es el pixel, pero se debe pasar a unidades en milímetros que nos permitan realizar una interacción directa con ella a la hora de usar el robot.
Por otro lado es muy importante que las coordenadas de la imagen estén relacionadas con la zona de trabajo, ya que los ejes X, Y deben llevar la misma orientación y estar bien alineados.
Para ello se ha ideado un proceso de calibración y centrado de la plantilla sencillo pero efectivo.

- En primer lugar se pulsa el botón de CALIBRATION para empezar las tereas de calibración.

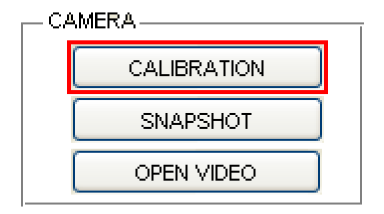


Figura 14. Inicio de calibración

Nos aparece una ventana emergente en la cual seleccionamos que operación queremos realizar, la de escalado o la de centrado de la zona de trabajo. La operación de centrado normalmente solo se realiza una vez ya que una vez esta posicionada la zona de trabajo en su lugar correspondiente ya no es necesario volver a centrarla.

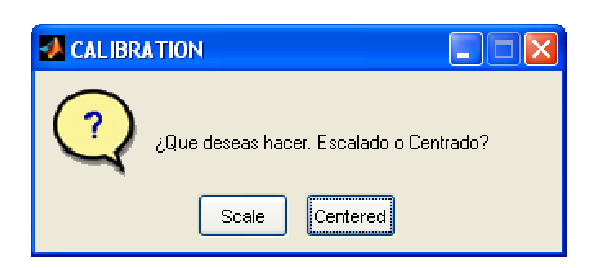


Figura 15. Menú de selección de operación

Si pulsamos *Scale*, previamente, en la zona de trabajo se colocan dos puntos a una distancia conocida, en este caso en concreto las situamos a una distancia de 250mm.

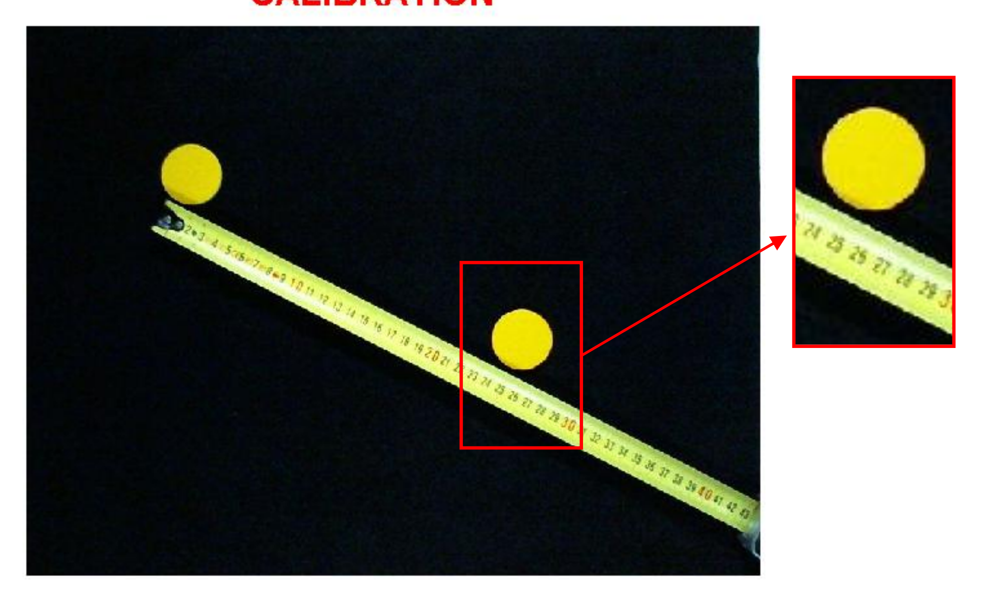


Figura 16. Colocación de los fiduciales

- Nos aparece la siguiente pantalla con una ventana emergente en la cual se introduce el valor conocido en mm, correspondiendo a 250mm.

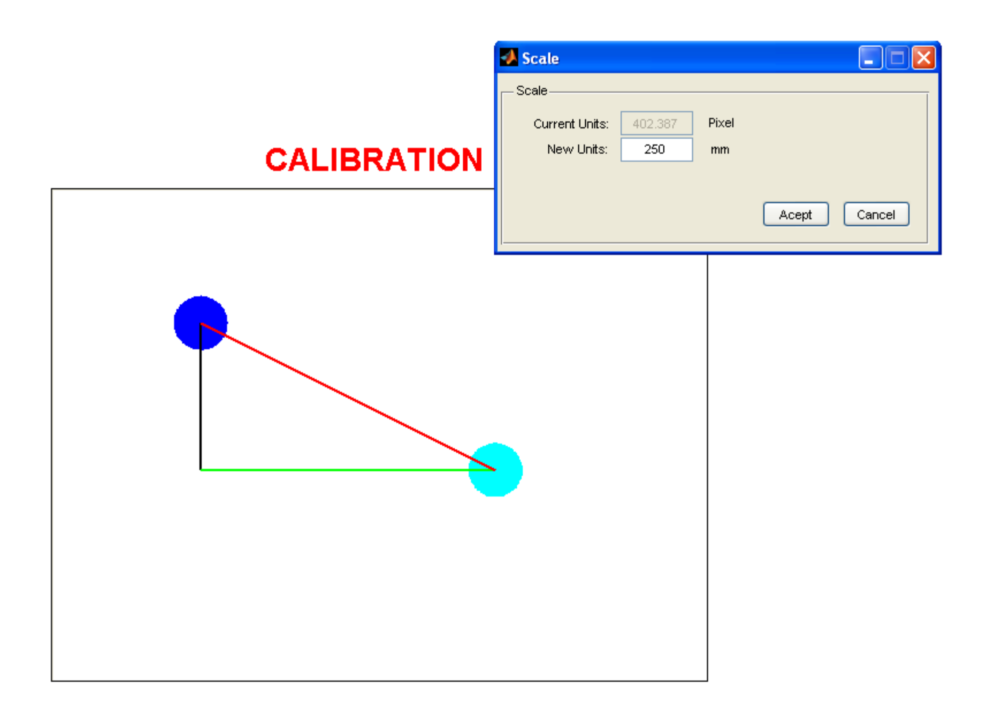


Figura 17. Ventana emergente de calibración

- Con una simple operación trigonométrica realizamos la conversión de pixel a mm

CALIBRATION

La relacion pixel - mm es: 1.6095 pixeles es 1mm

A=179.5994

B=360.082

C=402.3866

Figura 18. Conversión de unidades pixel-mm

Si lo que se desea es realizar un centrado de la plantilla de la zona de trabajo usamos el patrón tablero de ajedrez para realizar este cometido. Se pulsa *Centered* y se visualiza una herramienta de centrado.

Es conocida la resolución de la imagen adquirida (800x600) por lo tanto en el centro físico de la plantilla se coloca un elemento de color azul y el software se encarga de seguirlo, por lo tanto solo se debe ir moviendo la plantilla hasta su posición correcta.

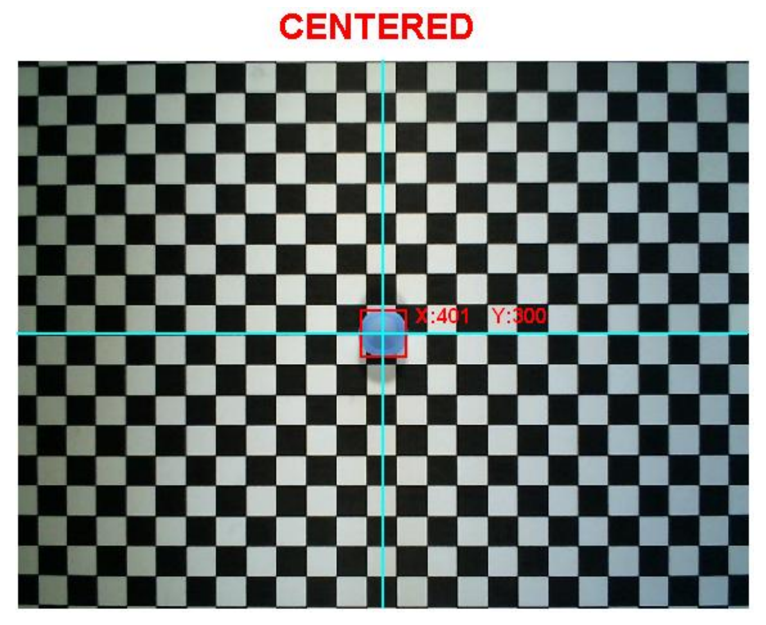


Figura 19. Centrado de la zona de trabajo

3.2.4. Captura de imagen

El siguiente paso después de colocar las fichas correspondientes en su lugar es pulsar el botón SNAPSHOT, obteniendo la captura de imagen.

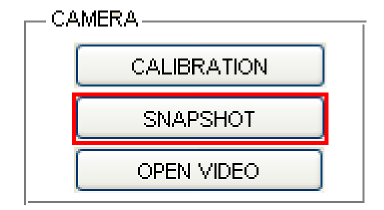


Figura 20. Inicio de captura de imagen

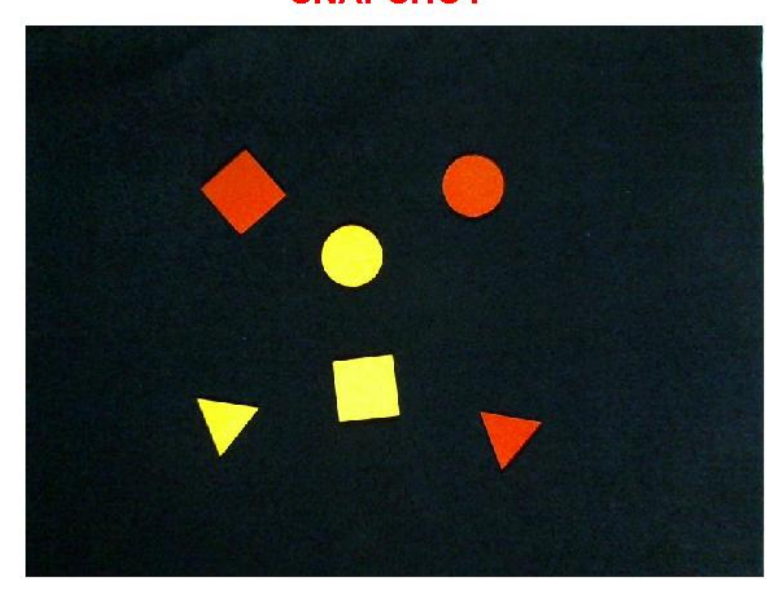


Figura 21. Instantánea tomada en proceso

3.2.5. Filtros de imagen

Para evitar problemas con el tratamiento digital de la imagen, se han implementado unos filtros de imagen con los cuales se puede mejorar la calidad de la imagen. Para ello se habilitan de la siguiente manera.

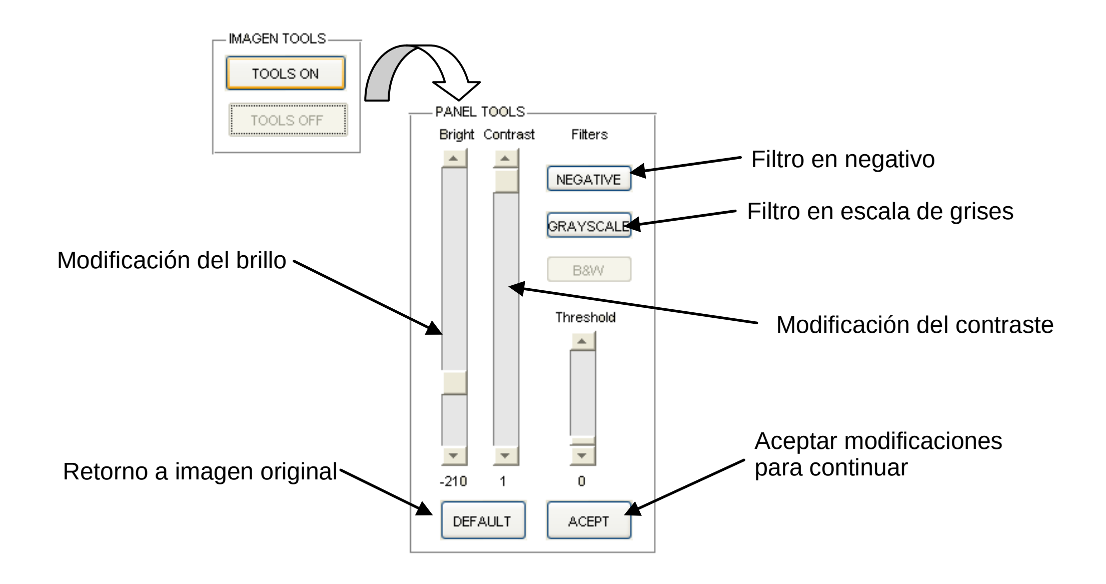


Figura 22. Control de filtrado de imagen

Como se aprecia en la siguiente imagen, la diferencia puede ser crucial a la hora de realizar el tratamiento digital de la imagen evitando fallos por los reflejos de la luz.

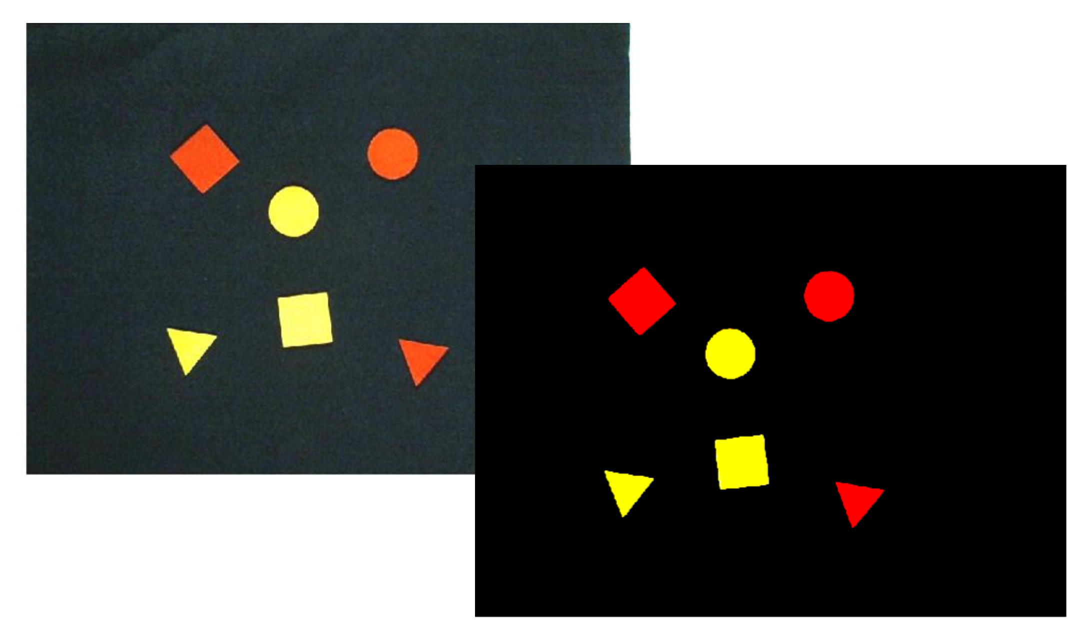


Figura 23. Imagen original VS imagen filtrada

3.2.6. Detección de color

El siguiente paso consiste en discriminar los colores de las figuras.

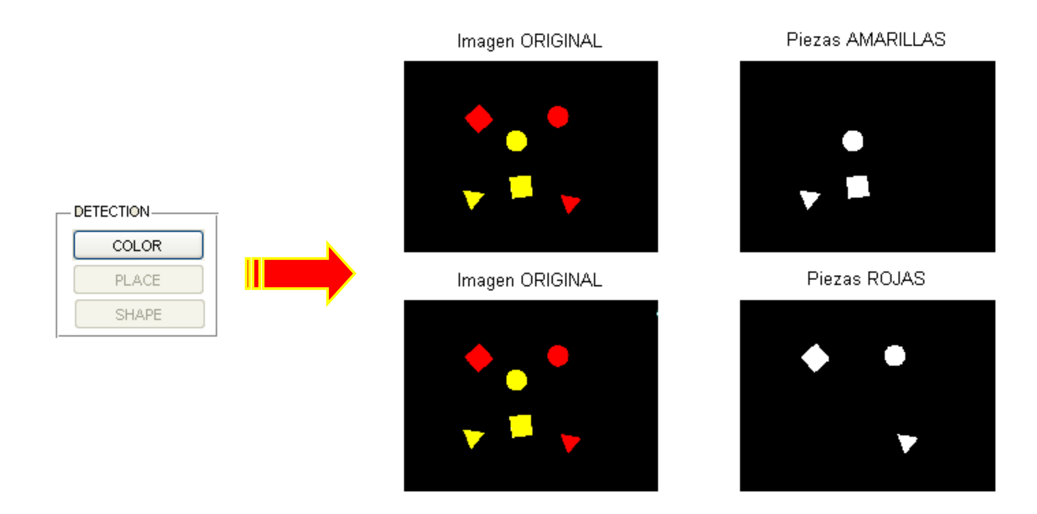


Figura 24. Detección de color

3.2.7. Detección de posición

Para la detección de la posición se realiza un proceso similar al anterior, de forma que pulsando el botón correspondiente, el programa nos guía para obtener como resultado final la detección de la posición de cada una de las figuras respecto al origen de coordenadas. Además, recordar que gracias al proceso de calibración previo a la captura de la imagen, las unidades de las medidas obtenidas se encuentran en milímetros.

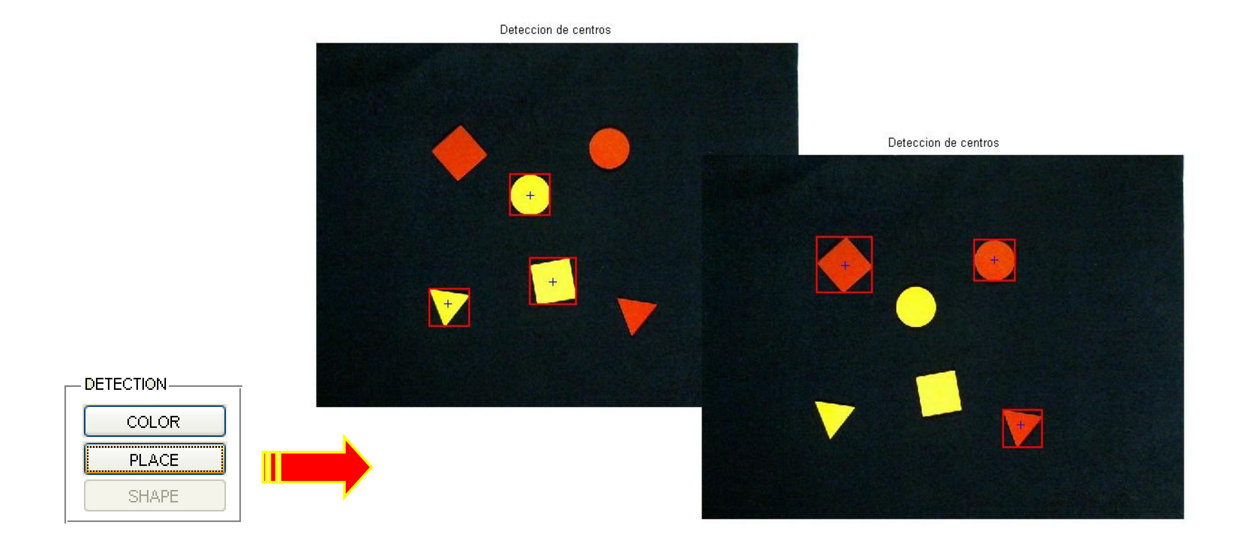


Figura 25. Detección de posición

3.2.8. Detección de la forma

Para terminar con el análisis digital de la imagen, otro de los requerimientos del proyecto es la detección de la forma de cada una de las figuras, para ello al igual que la resolución de las características anteriores, la aplicación te guía por el proceso hasta obtener los resultados.

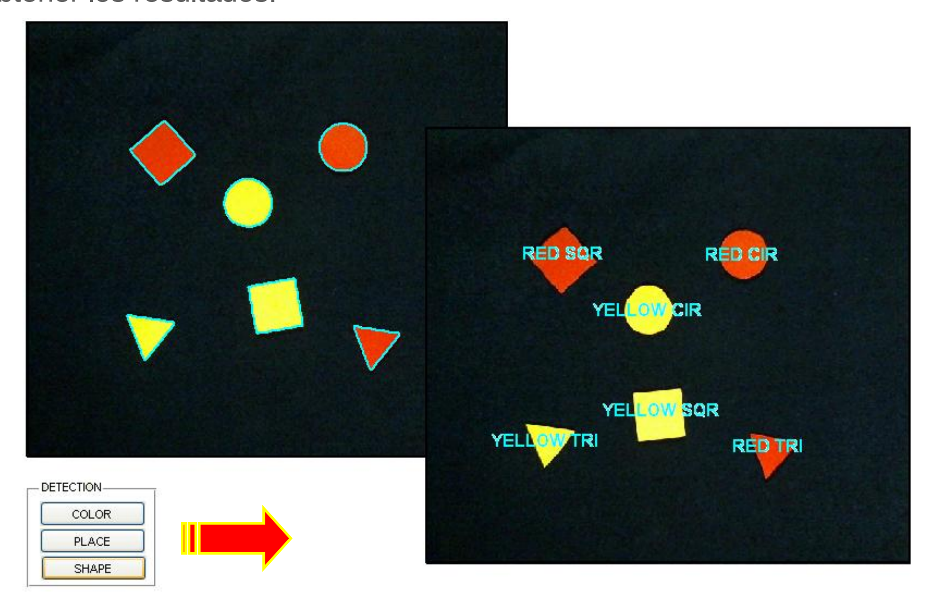


Figura 26. Identificación de forma

3.2.9. Visualización de los datos

Al terminar el proceso de identificación de las formas se pueden ver resumidos todos los datos en una tabla.

TABLE

Numero	Coordenada X	Coordenada Y	Forma	Color	Orientacion
1	136	267	Triangulo	Amarilla	52
2	221	156	Circulo	Amarilla	0
3	244	244	Cuadrado	Amarilla	12
4	147	113	Cuadrado	Roja	37
5	302	108	Circulo	Roja	0
6	329	276	Triangulo	Roja	56

Figura 27. Tabla resumen de los datos obtenidos

3.2.10. Transferencia de los datos

Todo este proceso realizado hasta el momento no sirve de nada si los datos no son transferidos al controlador robótico.
Para ello se ha implementado una herramienta que realiza un enlace entre el PC y el controlador a través del puerto serie.

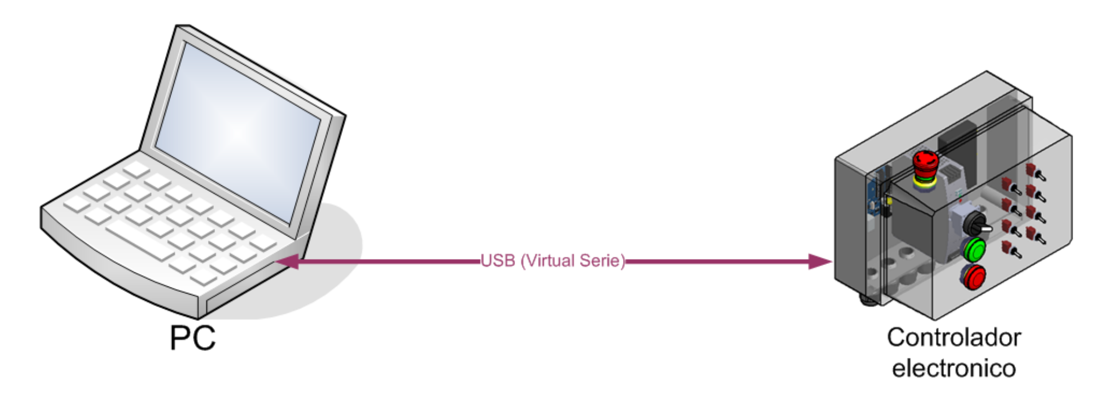


Figura 28. Interconexión entre equipos

El siguiente paso es realizar la transferencia. Si por algún caso la conexión no es buena o simplemente el controlador no responde a la petición de envío de datos, una ventana emergente avisará del problema:



Figura 29. Error de conexión PC-Robot

De confirmarse la comunicación, el botón START se habilitará recibiendo seguidamente un aviso de recepción OK.

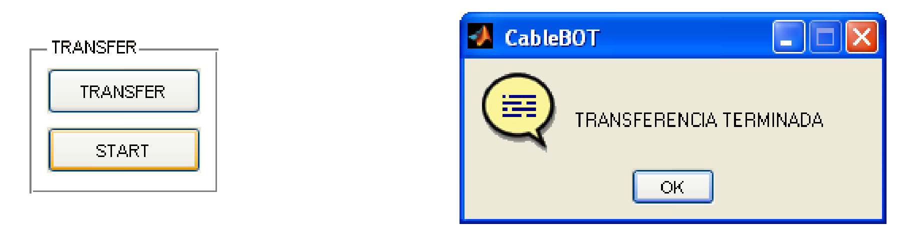


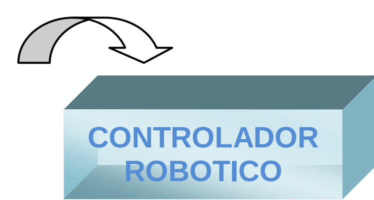
Figura 30. Transferencia terminada

Se ha implementado un protocolo de comunicaciones sencillo para la transferencia de datos desde la aplicación del PC hacia la tarjeta electrónica de control.





Numero	Coordenada X	Coordenada Y	Forma	Color	Orientacion
1	116	291	Circulo	Amarilla	0
2	160	87	Cuadrado	Amarilla	11
3	225	287	Circulo	Amarilla	0
4	336	101	Triangulo	Amarilla	38
5	362	235	Circulo	Amarilla	0
6	147	188	Cuadrado	Roja	45
7	243	180	Triangulo	Roja	22
8	325	309	Circulo	Roja	0



Se ha ideado un sistema de transferencia de datos en formato ASCII, ya que es una forma sencilla de trabajar con ambos dispositivos.

Antes de indicar las tramas enviadas se tendrá que tener en cuenta lo siguiente:

- Todas las tramas empiezan por **$**
- Todas las tramas acaban con **CR+LF**

Es un sistema basado en las tramas NMEA usadas para las comunicaciones marinas.

```
$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394,003.1,W*6A
```

Ejemplo de trama de datos NMEA

$	**Instrucción**	**,**	**Dato 1**	**,**	**Dato 2**	**,**	**Dato 3**	**,**	**Dato 4**	**,**	**Dato 5**	**,**	**Dato 6**	**CR+LF**

$	**DATA**	**,**	**Nº pieza**	**,**	**Coord. X**	**,**	**Coord. Y**	**,**	**Forma**	**,**	**Color**	**,**	**Orientación**	**CR+LF**

Tabla 3. Estructura de datos transferidos

Ejemplo de datos enviados:

EJEMPLO DE ENVIO DE DATOS	
$DATA, 01,116, 291, Circulo, Amarilla, 0	CR+LF
$DATA, 02, 160, 87, Cuadrado, Amarilla, 11	CR+LF
$DATA, 03, 225, 287, Circulo, Amarilla, 0	CR+LF
$DATA, 04, 336, 101, Triangulo, Amarilla, 38	CR+LF
$DATA, 05, 362, 235, Circulo, Amarilla, 0	CR+LF
$DATA, 06, 147, 188, Cuadrado, Roja, 45	CR+LF
$DATA, 07, 243, 180, Triangulo, Roja, 22	CR+LF
$DATA, 08, 325, 309, Circulo, Roja, 0	CR+LF

Tabla 4. Ejemplo de datos transferidos

3.2.11. Instrucciones de configuración

Se desean implementar varias instrucciones de configuración mediante comandos a través del puerto serie y tener un control sobre el equipo electrónico. Con esto se dota al sistema con mayor versatilidad y potencia a la hora de su funcionamiento.

El protocolo sigue siendo el mismo que el anterior, tramas de datos ASCII con las siguientes funcionalidades:

- **Solicitud de los datos:** Con esta instrucción el sistema devuelve los últimos datos almacenados en la estructura de recepción implementada en el µcontrolador.
  Se emplea la instrucción 'DATA'

  Pregunta:

$	Dirección	,	DATA	CR+LF

  Respuesta:

$	DATA	,	Nº pieza	,	Coord. X	,	Coord. Y	,	Forma	,	Color	,	Orientación	CR+LF

  Ejemplo:

Pregunta PC	Respuesta desde control	Descripción
$1,DATA	$DATA,1,012,145,Cuadrado,Roja,45 - - - $DATA,12,245,523,Circulo,Amarilla,0	Últimos datos almacenados en la base de datos del micro.
$1,DATA	NACK	No existen datos validos en la base de datos del controlador

- **Mover efector:** Con esta instrucción se envian coordenadas al control para que el efector se desplace a la posicion deseada.
  Se emple la instrucción 'GOTO'

  Pregunta:

$	Dirección	,	GOTO	,	Coord. X	,	Coord. Y	,	Coord. Z	CR+LF

  Respuesta:

$	GOTO	,	Coord. X	,	Coord. Y	,	Coord. Z	CR+LF

Ejemplo:

Pregunta PC	Respuesta desde control	Descripción
$1,GOTO,421,352,120	$GOTO,421,352,120	Coordenadas 3D de posición del efector en el volumen de trabajo.
$1,GOTO,821,1452,10	NACK	Coordenadas erróneas fuera de los límites.

- **Posicionamiento en cero:** Con esta instrucción se da la orden de poner a cero el valor de las coordenadas en las que se encuentra el efector en ese momento.
  Se emple la instrucción 'ZERO'

Pregunta:

$	Dirección	,	ZERO	CR+LF

Respuesta:

$	ZERO	,	CR+LF

Ejemplo:

Pregunta PC	Respuesta desde control	Descripción
$1,ZERO	$ZERO	Coordenadas 3D de posición del efector en el espacio de trabajo.
$1,ZERO	NACK	No aceptado por algún fallo.

- **Cambio de velocidad de movimiento:** Con esta instrucción se da la orden de modificar la frecuencia de la señal de sincronismo del clock de los driver de los motores PaP para modificar la velocidad.
  Se emple la instrucción 'VELO'

Pregunta:

$	Dirección	,	VELO	,	Frecuencia	CR+LF

Respuesta:

$	VELO	,	Frecuencia	CR+LF

Ejemplo:

Pregunta PC	Respuesta desde control	Descripción
$1,VELO,1000	$VELO,1000	Cambia la señal de clock a 1KHz.
$1,VELO,50000	NACK	Frecuencia no admitida.

3.3. Control de motor

Como forma de mejora personal, se han implementado varios complementos en cuanto al movimiento del motor se refiere de forma que se tiene la posibilidad de mover el robot de forma manual o automática.

3.3.1. Control mediante joystick

Pulsando el botón GAMEPAD se toma el control del robot de forma manual:



Mediante la pulsación de uno o varios de estos botones se tiene el control total del manipulador robótico:



Figura 31. Mando de control manual

CONTROL MEDIANTE JOYSTICK	
MOVIMIENTO	**BOTON**
Motor 1 adelante	Combinación botón 1 – botón 6
Motor 1 atrás	Combinación botón 1 – botón 8
Motor 2 adelante	Combinación botón 2 – botón 6
Motor 2 atrás	Combinación botón 2 – botón 8
Motor 3 adelante	Combinación botón 3 – botón 6
Motor 3 atrás	Combinación botón 3 – botón 8
Motor 4 adelante	Combinación botón 4 – botón 6
Motor 4 atrás	Combinación botón 4 – botón 8
Robot eje +X	Botón A
Robot eje –X	Botón B
Robot eje +Y	Botón C
Robot eje –Y	Botón D
Robot eje +Z	Botón 5
Robot eje –Z	Botón 7
Salir de control joystick	Botón 10

Tabla 5. Control mediante joystick

3.3.2. Control automático

Otra de las posibilidades de la aplicación es que el manipulador robótico funcione de forma automática, como no podía ser de otra forma. Para ello se ha implementado un control para iniciar, pausar o parar el sistema.

En ella se pueden ver las imágenes de las dos cámaras instaladas en el sistema la principal o acimutal colocada en la vertical de la zona de trabajo y la secundaria o panorámica instalada en el punto más alto con el fin de visualizar en todo momento el efector del manipulador robótico.

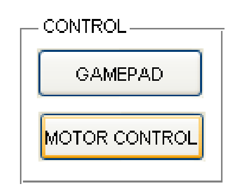


Figura 32. Inicio del control del robot

Al pulsar el botón motor control aparece una nueva interfaz de usuario:

Figura 33. Interfaz de usuario para manejo del robot

- **1:** Interfaz grafica de control
- **2:** Controles del manipulador
- **3:** Herramientas de video
- **4:** Botón SALIR
- **5:** Zona de visualización de cámara 1
- **6:** Zona de visualización de cámara 2

También se ha implementado un sistema de seguimiento, de esta forma podemos realizar un tracking del recorrido realizado por el manipulador a lo largo de todo el ciclo de almacenaje.

Se puede apreciar en la imagen como en todo momento nos está indicando las coordenadas en las que se encuentra el efector. Es una herramienta útil con la cual podríamos almacenar en un buffer las coordenadas y poder representarlas con el objetivo de ver todo el recorrido efectuado durante la prueba.

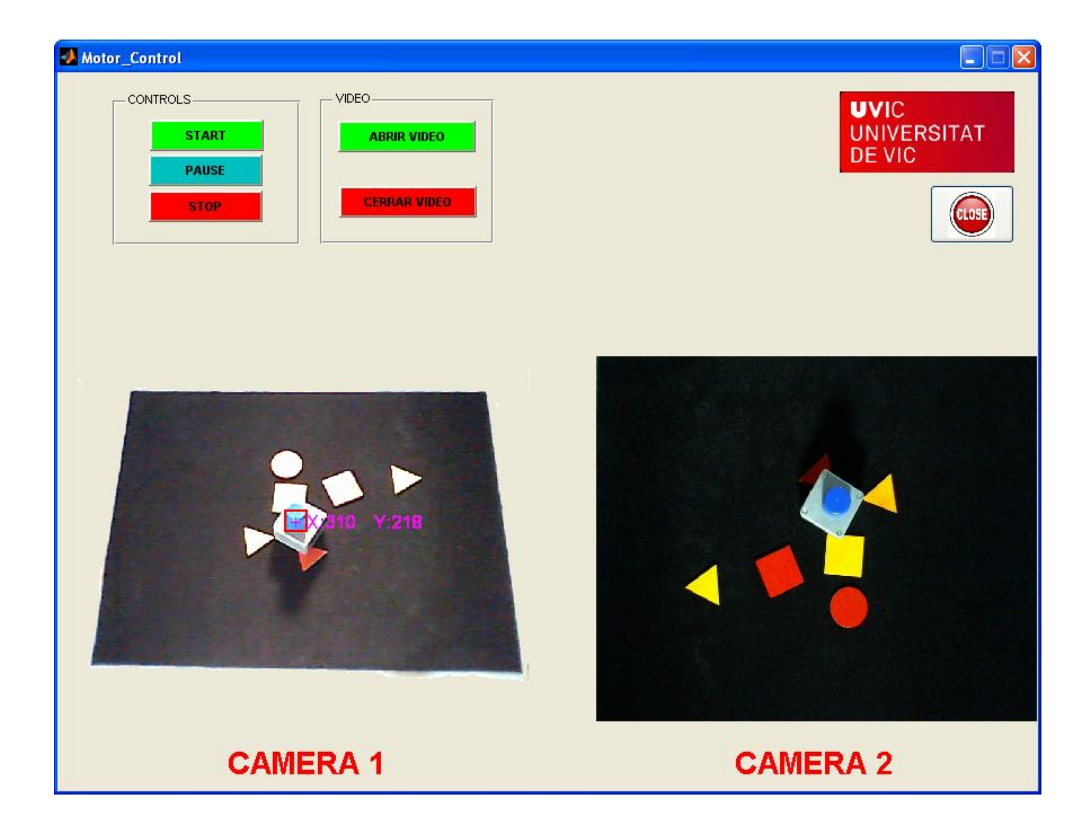


Figura 34. Ejemplo de tracking del manipulador

4. Conclusiones

Hay que tener muy presente que este proyecto se ha conducido con el cometido de realizarlo y construirlo físicamente, por lo tanto la tecnología usada quizá no sea la más adecuada ni los materiales de una alta calidad ya que el coste de los mismos han sido sufragados por mí mismo.

Si este proyecto fuese de carácter teórico solamente, se podrían haber seleccionado otro tipo de cámaras, focos o controladores por ejemplo, pero ya sabemos que bajo el papel funciona todo.